



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Estudio sobre el aprovechamiento de residuos de la industria vinícola

Use of waste form the wine industry

Autora

Alicia Uriel Fernández

Directora

Prof. María Pilar Mañas Pérez

Facultad de Veterinaria

2019



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Estudio sobre el aprovechamiento de residuos de la industria vinícola

Use of waste form the wine industry

Autora

Alicia Uriel Fernández

Directora

Prof. María Pilar Mañas Pérez

Facultad de Veterinaria

2019

ÍNDICE

RESUMEN/ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 La industria alimentaria y el problema de los residuos.....	2
1.2 La industria vinícola y sus residuos.....	3
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO	4
3. METODOLOGÍA	5
3.1 Fuentes bibliográficas consultadas.....	5
3.2 Metodología de búsqueda bibliográfica.....	6
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4.1 Estrategias generales para el tratamiento y aprovechamiento de residuos de la industria alimentaria.....	9
4.2 La industria del vino.....	12
4.2.1 Importancia económica.....	12
4.2.2 Proceso de elaboración del vino.....	13
4.2.3 Características de los residuos generados.....	16
4.3 Aprovechamiento de los residuos vinícolas.....	18
4.3.1 Compostaje.....	19
4.3.2 Orujeras.....	19
4.3.3 Extracción de aceite de semillas.....	21
4.3.4 Extracción de compuestos bioactivos.....	22
4.3.5 Fibra dietética.....	24
4.3.6 Alimentación animal.....	24
4.3.7 Procesos de bioconversión.....	25
4.3.8 Otros procesos fermentativos en estudio.....	27
5. CONCLUSIONES/CONCLUSIONS	30
6. VALORACIÓN PERSONAL	32
7. BIBLIOGRAFÍA	33
8. ANEXOS	39

RESUMEN

Actualmente, la generación de residuos a nivel mundial y, en concreto, los provenientes de la industria alimentaria, supone un grave problema medioambiental ya que las técnicas empleadas para su tratamiento y eliminación no resultan sostenibles.

Dado que España es uno de los principales países productores de vino, también es uno de los mayores productores de residuos de vinificación a nivel mundial. Este trabajo de revisión se ha centrado en el estudio de las técnicas actuales y en fase de desarrollo del tratamiento y revalorización del orujo de uva, que constituye el residuo de mayor volumen generado por la industria del vino. El orujo de uva tiene un abanico de usos muy amplio que incluye la producción de distintos tipos de alcoholes destilados, el compostaje para su uso como abono, la extracción de aceite de semillas y de compuestos bioactivos o la alimentación animal. Además, presenta unas características que lo han llevado a ser objeto de estudio en otras aplicaciones, como la producción de biocombustible, de biogás o de pululano, debido a su naturaleza lignocelulósica. No obstante, sería necesaria una mayor investigación para desarrollar estrategias más efectivas que permitan un mejor aprovechamiento y eliminación de este subproducto.

ABSTRACT

Currently, worldwide waste generation and in particular, those from the food industry, supposes a serious environmental problem since the techniques used for their treatment and disposal are not sustainable.

Due to the fact that Spain is a leading country in terms of wine production, it is also one of the largest producers of winemaking waste worldwide. This review has been focused on the study of current used and under development techniques of the treatment and revalorization of grape pomace, which is the most important waste generated by the wine industry. Grape pomace has a wide range of uses that includes the production of different types of distilled alcohols, composting for use as fertilizer, the extraction of oil from seeds and bioactive compounds or animal feed. In addition, it has characteristics that have led it to be studied in other applications, such as the production of biofuel, biogas or pululane, due to its lignocellulosic nature. However, further research would be necessary to develop more effective strategies that allow better use and disposal of this byproduct.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La industria alimentaria y el problema de los residuos

La población mundial se está expandiendo a un ritmo exponencial. Existe una gran demanda de alimentos y energía para satisfacer las necesidades de la sociedad, lo que conlleva una gran generación de residuos. Según la Directiva 2008/98/CE sobre residuos, «residuo» se define como cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse. Esta directiva también establece su clasificación, donde los residuos alimenticios y los residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos se denominan «biorresiduos». Hoy en día, los residuos generados por la industria alimentaria suponen un problema cada vez mayor, que se ve agravado por un desarrollo insuficiente de estrategias y medidas para su tratamiento y eliminación.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) definió el desperdicio de alimentos como cualquier cambio en la disponibilidad, aceptabilidad, salubridad o calidad del material comestible que impide que la población lo consuma (Giroto, Alibardi y Cossu, 2015). La FAO estimó que el 32% de todos los alimentos producidos en el mundo se perdieron en 2009, es decir, un tercio de los alimentos producidos para consumo humano. Por ejemplo, Estados Unidos, se generan anualmente casi 61 millones de toneladas de estos residuos y 90 millones en Europa. La generación de residuos alimentarios no se limita a los países desarrollados, pero sí las causas de su acumulación son distintas en los países en desarrollo, donde más del 40% de las pérdidas de alimentos se producen en las etapas postcosecha y de procesado, mientras que en los países industrializados, estas pérdidas se producen a niveles minorista y de consumo (Stenmarck et al., 2016).

Las técnicas tradicionales de eliminación y tratamiento directo, como el uso de vertederos o la incineración, que se aplican actualmente para el desperdicio de alimentos y gran parte de los residuos generados por la industria alimentaria, son las opciones menos sostenibles. Los vertederos generan varios problemas ambientales, como la lixiviación, la emisión de gases de efecto invernadero y la generación de olores, además de costes crecientes impuestos por la Unión Europea. Debido al elevado contenido en agua de estos residuos, la incineración es un proceso ineficiente, que demanda energía y que también causa contaminación del aire (Capson-Tojo et al., 2016).

En general, se puede afirmar que los diferentes procesos llevados a cabo en la industria alimentaria, como son el procesado, envasado, transporte y almacenamiento, resultan ineficientes considerando el volumen de desperdicios que generan, principalmente de naturaleza orgánica, suponiendo un grave problema medioambiental y altos costes asociados (Ravindran y Jaiswal, 2016).

El desarrollo sostenible en las empresas presenta tres dimensiones que son: la económica, la social y la ambiental. Desde el punto de vista económico, la sostenibilidad prevé que las empresas tienen que ser económicamente viables. En términos sociales, la empresa debe satisfacer los requisitos de proporcionar las mejores condiciones de trabajo a sus empleados, buscando contemplar la diversidad cultural existente en la sociedad en que actúa. Desde el punto de vista ambiental, la empresa debe guiarse por la ecoeficiencia de sus procesos productivos, adoptar la producción más limpia y una postura de responsabilidad ambiental (Lima, 2016).

El problema que se le plantea a la industria interesada en la valorización de los residuos de alimentos, es la heterogeneidad que presentan en el último eslabón de la cadena alimentaria, es decir, los generados por el consumidor, (que también son los de mayor volumen). Sin embargo, en las etapas previas de producción, los residuos generados por la industria alimentaria, están mucho más segregados, facilitando así su valorización (Ravindran y Jaiswal, 2016).

En conclusión, el desarrollo de soluciones sostenibles para la gestión de los residuos de origen alimentario, comenzando por los generados en la industria representa uno de los principales desafíos para la sociedad (Giroto, Alibardi y Cossu, 2015).

1.2 La industria vinícola y sus residuos

Según la OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino), en el año 2018 se produjeron 77,8 millones de toneladas de uvas frescas, de las cuales, 27 millones se destinaron a la producción de uvas de mesa (36%) y algo más de un millón a la producción de pasas (7%). El resto (57%) se destina a la elaboración del vino, obteniéndose más de 292 millones de hectolitros en todo el mundo (Figura 1).

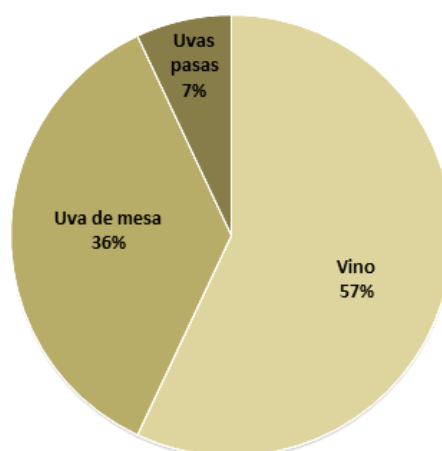


Figura 1. Destino de la uva producida de uva a nivel mundial (OIV, 2019).

Se estima que la industria española del vino genera entre dos y tres millones de toneladas por año de residuos o subproductos, producidos sobre todo durante el periodo de vendimia debido a su carácter estacional. La mayoría de los residuos generados en una bodega son residuos orgánicos (80-85%), compuestos principalmente por los raspones (12%), orujos (62%), las lías (14%) y los lodos (12%) (Figura 2). Los orujos se generan durante el prensado de la uva y están constituidos principalmente por piel y semillas; las lías se generan en el proceso de clarificación tras la fermentación del vino y consisten en sedimentos fundamentalmente de restos de levaduras y otros sólidos, los raspones son principalmente ramas y hojas de la vid y los lodos provienen del tratamiento de las aguas residuales (HAproWINE, 2011).

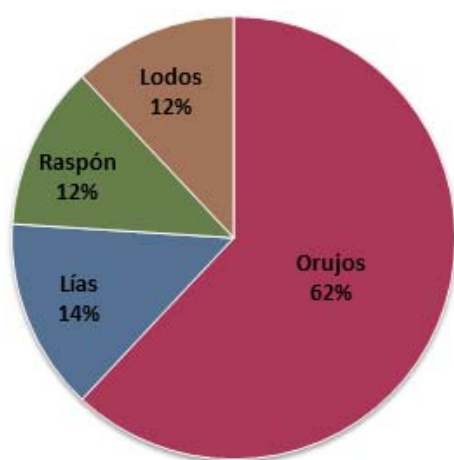


Figura 2. Distribución de los residuos generados en la industria del vino (HAproWINE, 2011).

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO

España es uno de los mayores productores mundiales de vino y, por ello, uno de los países donde mayor cantidad de residuos de bodega se generan. El tratamiento convencional de estos residuos se está volviendo cada vez más costoso, demandando cantidades significativas de recursos y energía para su descarga segura al medio ambiente. Las legislaciones más estrictas con respecto a la eliminación de residuos hacen necesarias soluciones alternativas a los vertederos o los vertidos a los ríos (Zacharof, 2016), y se está realizando un esfuerzo investigador creciente con el objetivo de desarrollar procesos que permitan, además, obtener un valor añadido.

El objetivo de este trabajo fin de grado fue obtener, recopilar y analizar información actualizada acerca de las estrategias actuales y en fase de estudio para el posible aprovechamiento de los residuos generados en las bodegas.

3. METODOLOGÍA

La revisión bibliográfica constituye una etapa fundamental en un proyecto de investigación, garantizando la obtención de la información más relevante en el campo de estudio (Gómez-Luna et al., 2014). Según el diccionario de la Real Academia Española (2019) revisar es ver con atención y cuidado, lo que se puede aplicar al artículo de revisión. Un artículo de revisión no es una publicación original, su finalidad es examinar la bibliografía publicada y situarla en cierta perspectiva (Guirao, Olmedo y Ferrer, 2008).

3.1 Fuentes bibliográficas consultadas

Para la realización de este trabajo de revisión se han consultado diversos buscadores de fuentes bibliográficas disponibles en la Universidad de Zaragoza, a partir de los cuales se seleccionaron, principalmente, libros y artículos científicos de interés:

- AlcorZe, es una herramienta de búsqueda unificada que permite acceder tanto a fuentes internas (catálogo de la biblioteca, repositorio institucional Zaguán) como externas (bases de datos), además de localizar publicaciones en acceso abierto (Biblioteca de la Universidad de Zaragoza, 2019).
- Science Direct, se trata de una plataforma electrónica sobre ciencia y tecnología de la empresa Elsevier que permite la búsqueda y recuperación de artículos de revistas y libros de la propia editorial, en las áreas científica, tecnológica y médica (Biblioteca de la Universidad de Zaragoza, 2019).
- Web Of Science es una plataforma que recoge las referencias de las principales publicaciones científicas de cualquier disciplina del conocimiento, tanto científico como tecnológico, humanístico y sociológico desde 1945 (FECYT, 2019).
- Google académico, desarrollado por Google, es un buscador especializado en el mundo de la investigación científica (Biblioteca de la Universidad de Zaragoza, 2019).
- EUR-Lex, es un sistema de información jurídica de la Unión Europea que hace posible la consulta del Diario Oficial de la Unión Europea, de la jurisprudencia de la UE y otros recursos relacionados con el Derecho de la UE mediante un motor de búsqueda (Oficina de publicaciones de la Unión Europea, 2019).
- También se consultaron diversas páginas web en Internet, principalmente de organizaciones nacionales e internacionales (Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV), Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), etc.), que aparecen reseñadas en la sección de bibliografía de esta memoria.

3.2 Metodología de búsqueda bibliográfica

El proceso de búsqueda de información se puede dividir en fases, como se recomienda en el curso online de la Universidad de Zaragoza “Guía de herramientas y pautas para un buen TFG: Ciencia y Tecnología de los Alimentos 2018-2019”:

Con la búsqueda inicial, se persiguió reunir información suficiente para componer una visión general del tema y saber qué y cuánto se ha escrito hasta el momento. Para ello se ha utilizado el buscador AlcorZe, concretamente el catálogo ROBLE para búsquedas de libros de la Biblioteca de la Universidad de Zaragoza, donde se ha recabado información básica tanto acerca de los residuos procedentes de la industria alimentaria en general y los problemas que suponen, como sobre el proceso de vinificación y los residuos generados en la industria vinícola. Principalmente se consultaron libros de la Biblioteca de la Facultad de Veterinaria, para ayudar a describir el proceso de vinificación y la generación de residuos en la industria alimentaria. Asimismo, para conocer la situación actual del mercado del vino fue de gran ayuda la página web de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV). Para completar estas ideas generales y poder describir mejor el tema tanto del procesado del vino como de los residuos de la industria alimentaria, se consultó la legislación europea en la base de datos EUR-Lex.

Para realizar una búsqueda más avanzada, se utilizaron bases de datos científicas como Science Direct y Web of Science, así como datos de estudios europeos y de organizaciones internacionales relacionados con el tema.

En esta búsqueda se emplearon palabras clave muy generales al principio, que permitieron completar esta visión general del tema, con información actualizada principalmente sobre las estrategias generales de aprovechamiento de residuos de la industria alimentaria y sobre la caracterización de los residuos de industria vinícola. La Tabla 1 muestra, a modo de ejemplo, el resultado de las búsquedas generales realizadas en la base de datos Science Direct. Una vez definidas las áreas de búsqueda más específicas, se usaron estas bases de datos para encontrar información sobre estrategias concretas de aprovechamiento de residuos y, en particular, de la valorización del orujo de uva. Con esta búsqueda se logró conocer mejor tanto estrategias actualmente en desarrollo como estudios innovadores. Las Tablas 2, 3 y 4, muestran los resultados del resto de búsquedas, tanto en Science Direct como en Web of Science, y están incluidas en la sección de Anexos.

Tabla 1. Búsqueda en ScienceDirect empleando palabras clave generales sobre residuos de la industria alimentaria

Palabras clave	Nº de documentos	Nº de artículos de interés	Campo de búsqueda	Filtros
Food waste	239.338	-	Article title, abstract, keywords,	
Food waste	19.471	-	Article title, abstract, keywords	Review articles
Food waste	112	3	Article title	Review articles
Food industry waste	121.961	-	Article title, abstract, keywords	
Food industry waste	11.140	-	Article title, abstract, keywords	Review articles
Food industry waste	5	2	Article title	Review articles
Food industry waste and valorization	3.627	-	Article title, abstract, keywords	
Food industry waste and valorization	571	-	Article title, abstract, keywords	Review articles
Food industry waste and valorization	3	0	Article title	

Las búsquedas iniciales más generales resultaron de poca utilidad por el elevado número de resultados. Por ejemplo, en Science Direct, la búsqueda de “food industry waste”, se obtienen casi 122.000 resultados. La gran mayoría pertenecen a “artículos de investigación” que se recogen desde el año 1996, con 1.505 publicaciones. Este número ha ido en aumento gradualmente, hasta superar las 10.000 publicaciones anuales los últimos dos años. Para reducir, se aplicaba el filtro de “artículos de revisión” ya que era lo que más interesaba. En ocasiones era necesario delimitar el campo de búsqueda al “título del artículo” y aplicar también el filtro de “artículos de revisión”.

Además, dependiendo de los términos de búsqueda, el número de resultados obtenido permitía escoger las publicaciones de interés más fácilmente. Se fueron probando diferentes combinaciones y palabras clave para obtener la información, sin embargo, las publicaciones solían repetirse entre unas búsquedas y otras, lo que indicaba que la base de datos no contaba con muchas más publicaciones sobre el tema.

Para escoger las publicaciones de interés, se realizó una lectura de los títulos de los artículos cuando el número de resultados era como máximo 200 y, cuando se planteaban dudas, se hacía una lectura del resumen. Finalmente se utilizaron aquellos artículos de interés, que además disponían de acceso libre desde los recursos de la Universidad de Zaragoza.

La búsqueda de temas más especializados resultó más sencilla, ya que se añadieron a las palabras clave anteriores, términos muy concretos (como pullulan,

biofuel, biogas, bioethanol, polymer, fermentation, etc.) que reducían significativamente el número de resultados, siendo normalmente innecesario el uso de filtros de búsqueda.

En Web of Science, en general, la cantidad de resultados por búsqueda era menor y, por lo tanto, más manejable y más ajustada al tema de trabajo. Se comenzó usando las mismas palabras clave y metodología de búsqueda que en Science Direct, con algunas variaciones debido al menor número de resultados. Empleando las palabras clave “food industry waste”, se obtiene un gran número de resultados sobre el tema, más de 4.000, sin embargo, era notablemente menor que en Science Direct. La primera publicación data del año 1947, siendo de los últimos 10 años la mayoría de publicaciones. El campo de búsqueda empleado era el “tema” y en ocasiones se empleó el “título”, sin embargo no resultaba necesario en la mayoría de los casos aplicar filtros o reducir el campo de búsqueda ya que el número de resultados obtenidos no solía ser demasiado alto.

Inicialmente, en ambas bases de datos se emplearon las mismas palabras clave y una metodología similar en cuanto a definir los campos de búsqueda y el empleo del filtro “artículos de revisión”.

Como se ha mencionado anteriormente, después se pretendió profundizar en determinados temas, para lo que se establecieron nuevas palabras clave o descriptores. Estos nuevos campos de búsqueda sobre temas más específicos se decidieron a partir de la información general ya recabada y analizada. La búsqueda de estos artículos, en ocasiones, resultó más sencilla ya que se trataba de temas más concretos, pero al mismo tiempo su lectura podía resultar más compleja.

Asimismo, se empleó algún artículo sugerido por la propia base de datos (Science Direct) en función de los escogidos y también se consultó la bibliografía de algunos artículos de revisión sobre temas generales, para consultar los artículos citados en los que se ahonda más en temas determinados.

En un inicio, la información se clasificó en función de la temática. Cuando la cantidad de artículos y documentos había aumentado considerablemente, se empleó el gestor bibliográfico Mendeley Desktop. Se trata de una aplicación que permite gestionar referencias bibliográficas y documentos en PDF.

Tras la búsqueda y la organización de la información, el trabajo consistió en la lectura comprensiva de los documentos escogidos, obtener de ellos el contenido de interés para esta revisión y su análisis y redacción.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estrategias generales para el tratamiento y aprovechamiento de residuos de la industria alimentaria

En el ámbito legal, la Directiva 2008/98/CE prioriza la prevención de la generación de desechos, seguida del procesamiento para su reutilización y el reciclaje, considerando la eliminación la etapa menos favorecida de la gestión de desechos (Figura 3).



Figura 3. Jerarquía de procesamiento de residuos (Ravindran y Jaiswal, 2016).

Los residuos generados por la industria alimentaria empiezan a considerarse como un reservorio de materias primas comercialmente importantes y cada vez se abren más vías de investigación para su aprovechamiento. El valor de estos residuos de alimentos considerados como materia prima, está determinado por la relación entre el coste operacional del proceso de conversión de biomasa y el precio de los productos objetivo (Ravindran y Jaiswal, 2016).

Dependiendo de la naturaleza de los residuos, su composición química puede ser muy diferente. Puede comprender una mezcla de carbohidratos, lípidos y proteínas o, si se genera a partir de sectores agroindustriales específicos, puede ser rico en uno de estos constituyentes. La producción de la denominada “**bioenergía**” es uno de los campos más prometedores empleando como materia prima estos residuos sometidos a bioprocesos o procesos termoquímicos como la transesterificación de aceites y grasas para producir biodiesel, la fermentación de carbohidratos para producir bioetanol, la

digestión anaeróbica para producir biogás, la fermentación oscura para producir hidrógeno, la pirolisis o la incineración (Giroto, Alibardi y Cossu, 2015).

No todos los procesos enumerados se desarrollan actualmente a nivel industrial para la aplicación a gran escala, como por ejemplo, el empleo de residuos para la producción de hidrógeno, a pesar de haberse estudiado profundamente; por otro lado, la incineración permite reducir el volumen de residuos y producir energía eléctrica y calor, pero el alto contenido en humedad de estos residuos limita su utilidad. Sin embargo, existe un interés creciente por la digestión anaeróbica, ya que la alta biodegradabilidad y el contenido en humedad de estos residuos son características ideales para la producción de biogás (Giroto, Alibardi y Cossu, 2015).

Según su origen, los residuos de la cadena de suministro de alimentos pueden clasificarse en general como residuos derivados de plantas o residuos derivados de animales (Ravindran y Jaiswal, 2016). Debido al alto riesgo sanitario derivado de los **residuos animales**, principalmente por su alto contenido proteico, los esfuerzos para el desarrollo de procesos de revalorización se han centrado en los residuos vegetales. Sin embargo, los residuos de origen animal también se destinan a otros usos además del compostaje, la incineración o la producción de alimentos para animales, como es la obtención de colágeno, una proteína ampliamente usada en las industrias cosmética y farmacéutica (Jayathilakan et al., 2011). La industria de productos lácteos está considerada como la mayor fuente de aguas residuales del procesamiento de alimentos. Sus efluentes contienen altas concentraciones de materia orgánica que necesitan tratamiento especial para evitar o minimizar problemas medioambientales. El principal subproducto generado es el lactosuero, procedente de la elaboración del queso, que puede emplearse en la producción de aislados de proteínas o azúcares (Wang et al., 2008).

Los **residuos vegetales** de la industria alimentaria resultan interesantes para los investigadores de energías renovables, ya que tienen alto contenido de celulosa, que por degradación enzimática libera glucosa y xilosa, pudiendo convertirse en etanol mediante fermentación. Hoy en día, los residuos de arroz, trigo y maíz son las principales fuentes de desechos agrícolas que se utilizan ampliamente para la producción de biocombustibles (Ravindran y Jaiswal, 2016). Por ejemplo, solo los residuos del arroz generados entre África, Asia, Europa y América, podrían emplearse en producir 205.000 millones de litros de bioetanol al año, lo que según la Organización Internacional del Azúcar (ISO, 2019), supone casi el doble de la producción de 2018.

Hoy en día los dos principales productores son Estados Unidos y Brasil, que juntos producen el 70% del total. La biomasa vegetal se ha utilizado para la producción de etanol combustible durante casi un siglo (Yang et al., 2014). La tendencia de esta producción, es el empleo como sustrato de residuos agrícolas, en lugar de los propios alimentos como materias primas, ya que las más utilizadas actualmente son la caña de azúcar, la remolacha o el maíz (Maitan-Alfenas, Visser y Guimarães, 2015).

Recientemente, la demanda mundial de etanol ha aumentado debido a la gran cantidad de aplicaciones industriales. El etanol se utiliza principalmente como materia prima química para producir etileno con una demanda de mercado de más de 140 millones de toneladas por año, un material clave para la producción adicional de polietileno y otros plásticos. Tradicionalmente, el **bioetanol** se produce a partir de cultivos ricos en celulosa y almidón, pero su producción a partir de materias primas baratas ha ganado interés. El almidón puede convertirse fácilmente en glucosa por enzimas comerciales y posteriormente fermentarse en etanol, normalmente por *Saccharomyces cerevisiae*. Sin embargo, la hidrólisis de la celulosa es más difícil y los residuos vegetales lignocelulósicos suelen requerir tratamientos previos de solubilización (Uçkun Kiran et al., 2014).

Los residuos de la industria alimentaria también se emplean para la **producción de enzimas** comercialmente importantes, como la celulasa, lacasa, amilasa, xilanas, fitasa o lipasa, mediante procesos fermentativos y su posterior aislamiento y purificación, el problema surge de sus altos costes.

También el tema económico es un impedimento en la **producción de polímeros biodegradables** sustitutivos de los plásticos (Ravindran y Jaiswal, 2016). La producción de biopolímeros como sustitutos renovables y biodegradables de los productos petroquímicos es aplicable tanto a residuos agroindustriales como a residuos orgánicos a nivel doméstico y es actualmente objeto de creciente interés. Los monómeros correspondientes se sintetizan mediante el uso de microorganismos fermentadores, a menudo genéticamente modificados, o por procesamiento químico de aceites vegetales. Estos metabolitos son el lactato, para la producción de polilactato, polihidroxialcanoatos (PHA), particularmente el poli-3-hidroxibutirato (PHB), polímeros de almacenamiento natural de muchas especies bacterianas con propiedades similares al polietileno y polipropileno, o el succinato, un precursor valioso para la

fabricación de productos farmacéuticos, plásticos y detergentes (Fuessl, Yamamoto y Schneller, 2012).

En la actualidad, entre los diversos tipos de plásticos biodegradables el grupo de los PHA es uno de los más prometedores. Son poliésteres lineales de hidroxiácidos, sintetizados mediante fermentación por una amplia variedad de bacterias, los cuales se acumulan en el citoplasma formando gránulos intracelulares cuando el cultivo se lleva a cabo en un medio limitado, normalmente deficiente en nitrógeno o fósforo (Salerno, Koller y Braunegg, 2012).

El coste industrial de producción de PHA es mucho mayor que el de los polímeros derivados del petróleo. En particular, el coste de la materia prima representa la mitad del coste total de producción, por lo tanto el empleo de residuos alimentarios, como residuos lignocelulósicos, puede suponer una alternativa viable para la producción de PHA (Tsang et al., 2019).

La **producción de productos químicos** a partir de residuos de biomasa resulta bastante rentable, por lo que se están desarrollando procesos para la extracción de productos de valor agregado como son los antioxidantes, fenoles, vitaminas o la fibra dietética a partir de residuos de la industria alimentaria (Ravindran y Jaiswal, 2016).

Dos prácticas comunes para el tratamiento de residuos de alimentos son el **compostaje aeróbico** y su empleo en alimentación animal, ambas opciones implican la valorización de los residuos de la industria alimentaria, sin embargo, en el caso del compost se generan productos con poco valor agregado dado su potencial y aumentan los riesgos de propagación de enfermedades en el caso de los piensos. Por tanto, existe una necesidad de desarrollar y optimizar tecnologías para la valorización y el reciclaje de este tipo de residuos (Capson-Tojo et al., 2016).

4.2 La industria del vino

4.2.1 Importancia económica

La superficie mundial dedicada al viñedo en 2018 era de 7,4 millones de hectáreas, donde 5 países representan el 50%, que sin embargo no coinciden exactamente con los mayores productores de vino. Por ejemplo, China dedica la mayor parte de su producción a uvas de mesa (OIV, 2019). En cuanto al consumo, se calcula en 246 millones de hectolitros a nivel mundial. Tampoco los principales productores son los principales consumidores como se refleja en la Figura 4.

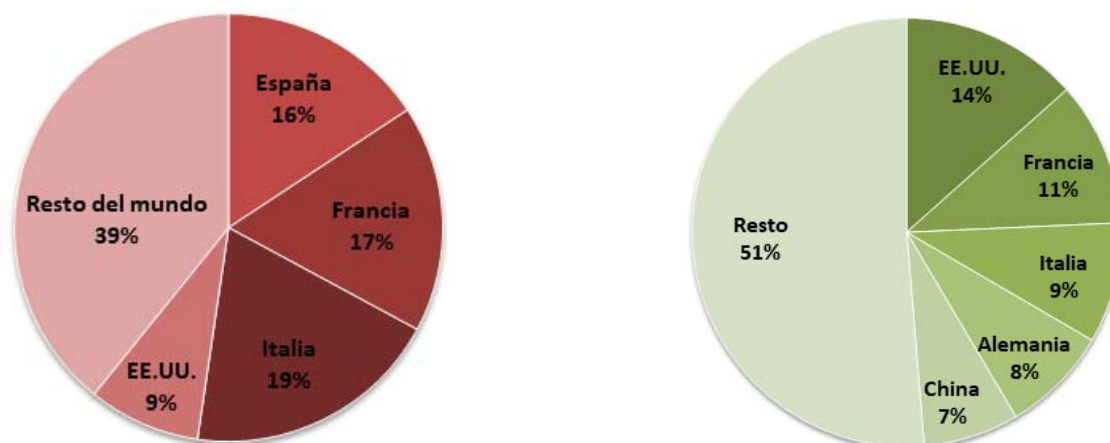


Figura 4. Principales países productores (izda.) y consumidores (dcha.) de vino (OIV, 2019).

España es uno de los mayores productores de vino del mundo, casi con un millón de hectáreas dedicadas al viñedo y una producción de vino de más de 32,5 millones de hl en 2017 (OIV, 2019). Los hogares españoles destinan a la compra de vinos el 1,49% de su presupuesto para alimentación y bebidas, esto supone un gasto per cápita de 22,81 €/persona/año siendo el consumo medio de 7,89 litros por persona y año. En total supone un volumen de casi 370.000 miles de litros de consumo en el hogar y un gasto de más de mil millones de euros (MAPA, 2018).

4.2.2 Proceso de elaboración del vino

Según la Ley 24/2003 de la Viña y del Vino, el vino se define como el alimento natural obtenido exclusivamente por fermentación alcohólica, total o parcial, de uva fresca, estrujada o no, o de mosto de uva.

El proceso de elaboración del vino (Figura 5) comienza con la vendimia, cuya fecha se debe ajustar al momento de maduración óptimo de la uva. Puede realizarse manualmente o con la ayuda de maquinaria específica, siempre evitando en la medida de lo posible daños en el fruto. El transporte también debe respetar la integridad de las bayas, para evitar un deterioro debido a oxidaciones o fermentaciones precoces (Zamora, 2003). A la recepción, se determinan diferentes parámetros como el peso, el pH, la acidez, el color o el grado alcohólico probable para contar con un conocimiento más completo de la materia prima. En función del producto deseado, vino blanco o tinto, el proceso de vinificación es distinto.

En la elaboración del **vino blanco**, la vinificación se lleva a cabo en ausencia de partes sólidas. A la llegada a la bodega, se retira el raspón (estructura vegetal del racimo) para evitar un aporte excesivo de amargor al mosto, además de disminuir la

aspereza y astringencia del vino. Este proceso se denomina despalillado. Seguidamente, el estrujado rompe la piel de la uva, denominada hollejo, facilitando la liberación rápida del mosto. Estas dos etapas reducen la masa que se lleva a la prensa, facilitando su transporte y la dosificación del sulfuroso que se añade (Suárez e Iñigo, 2008).

En ocasiones, se deja macerando el mosto con los hollejos durante algunas horas para que el mosto adquiera parte del color y aromas característicos que aportan los hollejos, pero normalmente se lleva a cabo de manera inmediata el prensado, que consiste en la extracción de la máxima cantidad de mosto mediante aplicación de presión en etapas consecutivas de intensidad creciente (Zamora, 2003).

Este mosto se transporta a los depósitos para su tratamiento con sulfitos, se trata de una etapa muy importante, ya que actúan como antioxidantes y antisépticos. Para la fermentación de vinos blancos, se debe partir de un mosto limpio. La separación del jugo de pequeñas partículas en suspensión, como tierra, bacterias, levaduras, hollejos u otros restos sólidos en suspensión, se denomina desfangado. Este proceso se consigue por decantación, aunque se puede complementar con procesos de filtración o centrifugación y suelen emplearse clarificantes como bentonita o gelatinas. Con esta etapa se evita una maceración excesiva que pudiera aportar propiedades organolépticas indeseables, además de eliminar gran cantidad de enzimas y microorganismos que comprometan la estabilidad del mosto (Delanoë, Maillard y Maisondieu, 2003).

Una vez el mosto está preparado comienza la fermentación. El objetivo de la fermentación alcohólica es conseguir la transformación de casi la totalidad de los azúcares presentes en el mosto en etanol y otros compuestos secundarios (Zamora, 2003). Las responsables de este proceso son levaduras, principalmente del género *Saccharomyces*, cuyas enzimas transforman la glucosa y la fructosa presentes en la pulpa de la uva, dando lugar a alcohol etílico y dióxido de carbono en una proporción similar. Además, se forman pequeñas cantidades de otros productos durante la fermentación como glicerol, ácido succínico, butilenglicol, ácido acético, láctico y otros alcoholes (Delanoë, Maillard y Maisondieu, 2003).

Se debe llevar un seguimiento de la densidad y la temperatura durante esta etapa, que no debe sobrepasar los 20°C. Dependiendo del tipo de vino deseado (seco, semisecco o dulce), se detendrá la fermentación cuando se agoten los azúcares reductores o antes, mediante trasiegos con adición de sulfuroso o por descenso de la temperatura del depósito. Los trasiegos también sirven para eliminar residuos que puedan precipitar en

el depósito. Esta “limpieza” termina con la clarificación y filtrado, que permite eliminar materias más ligeras suspendidas en forma de coloides. Estos coloides están cargados electrostáticamente y pueden ser eliminados por precipitación mediante la adición de cargas opuestas. La clara de huevo, la gelatina o la bentonita son agentes clarificantes, que deben añadirse al vino en cantidades controladas para evitar efectos adversos (Delanoë, Maillard y Maisondieu, 2003).

En la elaboración del **vino tinto**, la diferencia más notable radica principalmente en la etapa de maceración, que tiene una duración muy superior, en la que el mosto permanece en contacto con el orujo de uva. Esta fermentación, permite la extracción de compuestos como antocianos o taninos, que aportan colores y aromas típicos del vino tinto. La duración de esta etapa depende de diversos factores y finaliza con el descube, terminando la fermentación alcohólica en ausencia del orujo de uva (Suárez e Iñigo, 2008).



Figura 5. Proceso de elaboración del vino. Principales operaciones en las que se generan los diferentes residuos

Otra gran diferencia con los vinos blancos es que, en la elaboración del vino tinto, se lleva a cabo una segunda fermentación, la maloláctica, que consigue reducir la acidez

del vino y asegura su estabilidad microbiológica, gracias a la transformación del ácido málico en ácido láctico. Las responsables de esta fermentación son bacterias ácido lácticas presentes en la propia vid o inoculadas como starters, principalmente *Oenococcus oeni* (Suárez e Iñigo, 2008).

Estos hollejos, aún contienen grandes cantidades de vino, por lo que se someten a prensado para extraer todo el líquido, obteniéndose el denominado vino de prensa, rico en aromas y taninos, de menor calidad por sus características organolépticas y sanitarias (Delanoë, Maillard y Maisondieu, 2003).

4.2.3 Características de los residuos generados

Como se ha descrito previamente, los residuos generados en una bodega son principalmente los raspones (12%), los orujos (62%), las lías (14%) y los lodos (12%). Durante el proceso de vinificación (Figura 5), los raspones se generan en el despalillado, los orujos se generan después de extraer el jugo en la elaboración del vino blanco y tras la fermentación y el prensado para obtener el vino tinto, las lías se recogen tras el proceso de clarificación y en los trasiegos y los lodos resultan del tratamiento de las aguas residuales. (Muhlack, Potumarthi y Jeffery, 2018).

El orujo constituye el principal residuo, es al que se le ha dedicado más atención, por lo que esta revisión se centra principalmente en él. Teniendo en cuenta el porcentaje de uvas destinadas a producción de vino y que el orujo de uva, su principal subproducto, constituye alrededor del 15-20% del peso total de la uva, se estima que anualmente se generan 8 millones de toneladas en todo el mundo (Bordiga, Travaglia y Locatelli, 2019). La Figura 6 muestra el volumen estimado de producción de orujo de vino en los principales países productores referido a la última vendimia.

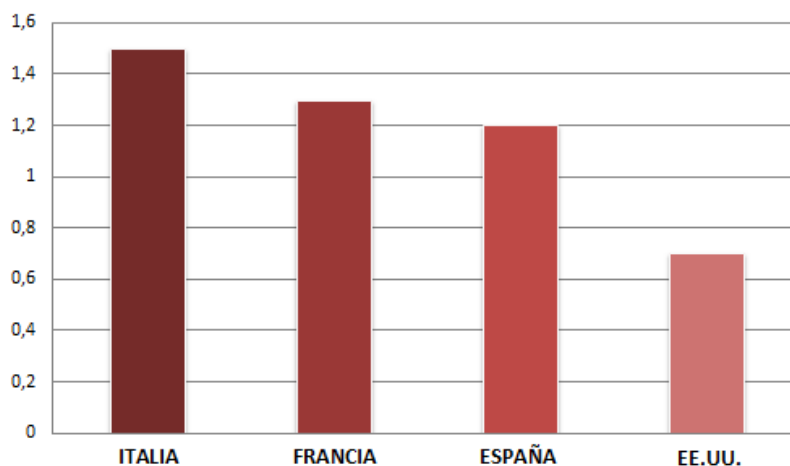


Figura 6. Producción estimada de orujo de uva (millones de toneladas) en distintos países durante 2019 (a partir de datos de la OIV, 2019).

El orujo está constituido por hollejos (piel de la uva), semillas (también denominadas granilla), restos de pulpa y pequeños raspones en proporciones variables. Sus características físico-químicas varían notablemente en función del tipo de vino producido, la variedad de uva y el tipo de proceso de separación utilizado. La proporción entre los hollejos, las semillas y raspón depende en gran medida de la eficacia del proceso de separación del raspón, ya que influye la maquinaria utilizada y del tipo de vino a elaborar (FEDNA, 2019). También las características edafológicas del cultivo y la climatología determinan su composición y características.

El orujo es una fuente rica de productos de alto valor que incluyen etanol, tartatos, malatos, ácido cítrico, aceite de semilla de uva, hidrocoloides y fibra dietética (FEDNA, 2019). Además, son ricos en materia orgánica biodegradable y, si no se tratan correctamente, pueden suponer un peligro potencial para el medioambiente, ya que pueden alterar los suelos y contaminar aguas superficiales y subterráneas (Bordiga, Travaglia y Locatelli, 2019).

En cuanto al contenido de agua, depende del origen y la intensidad de la presión aplicada durante el prensado, pudiendo oscilar entre el 55% y el 75%. Aún con estas posibles diferencias, su humedad será suficiente para promover la degradación microbiana y enzimática. Por tanto, dadas las grandes cantidades que se generan de orujo concentradas en periodos cortos de tiempo, el orujo debe estabilizarse ya que no da tiempo a procesarlo. Tradicionalmente, la vida útil del orujo se ha extendido eliminando el oxígeno por compactación, aunque también se suelen emplear diferentes ácidos como el sulfúrico, tartárico o fosfórico o sulfitos. Sin embargo, el secado es la forma más común de procesarlo para su almacenamiento (Sotiropoulou et al., 2017).

La fibra dietética es el componente principal del orujo de uva seco, con concentraciones comprendidas entre 43% y 75%. Los polisacáridos de la pared celular y la lignina son sus principales componentes. Generalmente, las semillas son más ricas en fibra si se comparan con la piel, del mismo modo que el orujo de vino tinto si se compara con el de vino blanco. Es importante destacar, que estos azúcares hemicelulósicos, son capaces de generar monómeros de xilosa y glucosa después de un proceso de hidrólisis (Bordiga, Travaglia y Locatelli, 2019).

Es importante tener en cuenta que, debido a las diferencias en el procesado de los vinos tintos y los vinos blancos, estos orujos tendrán diferente composición, sobre todo en azúcares. En el caso de los vinos tintos, el subproducto ha sido fermentado, ya que la

fermentación alcohólica ocurre en presencia de los orujos, mientras que el procedente de los vinos blancos, conserva parte de sus azúcares fermentables (García-Lomillo y González-San José, 2016). Así, el orujo de vino blanco, puede contener hasta un 38% del peso en seco de glucosa y fructosa, mientras que el procedente de la elaboración del vino tinto, presenta un nivel de glucosa y fructosa tan solo del 1% (Muhlack, Potumarthi y Jeffery, 2018).

El contenido en proteínas supone entre el 6 y el 15% de la materia seca. La materia grasa se estima en un 6%, y está principalmente contenida en las semillas. Finalmente, el contenido en cenizas se estima entre un 7 y un 3%, dependiendo del porcentaje de piel y semillas (FEDNA, 2019).

Estos residuos se caracterizan por la presencia de antioxidantes naturales, que de hecho ya se han comenzado a utilizar en la industria alimentaria. Además, como se desarrollará posteriormente, los residuos del vino tienen otros usos potenciales (Arvanitoyannis, Ladas y Mavromatis, 2006).

4.3 Aprovechamiento de los residuos vinícolas

Tradicionalmente, el orujo de uva se ha sometido a procesos de destilación para producir diferentes tipos de alcoholes, pero también se ha destinado a otros usos como fertilizante o alimento para animales. La idea de revalorizar el orujo del vino no es nueva y se han propuesto diferentes alternativas desde los años setenta. La producción de antocianinas aisladas de orujo de vino fue probablemente una de las primeras propuestas interesantes con reconocimiento internacional. Tanto es así que actualmente hay disponibles varias antocianinas comerciales, entre ellas el colorante alimentario E-163, comercializado en Europa (Zacharof, 2016), denominado inicialmente “enocianina”. Este producto quizás representó la primera propuesta interesante en la industria alimentaria además de los campos de cosméticos y productos farmacéuticos (Bordiga, Travaglia y Locatelli, 2019).

Tanto su uso como fertilizante, para producir diferentes tipos de destilado, su procesamiento para alimentación animal o la obtención de aceite de semilla y polifenoles mediante procesos de extracción, son aplicaciones con mercados limitados y pueden absorber solo una pequeña porción de estos residuos. Por lo tanto se necesitan usos alternativos para valorizar este residuo (Zheng et al., 2012). En los últimos años, se ha tratado de usar estos subproductos no solo como una forma de proteger el medio

ambiente al minimizar los efectos no deseados que surgen de su vertido, sino también como una forma de proporcionar un ingreso adicional a la industria del vino. Se ha propuesto el uso de subproductos de la uva como nutracéuticos, antioxidantes, colorantes, antimicrobianos, alimentos para animales, fertilizantes, en el proceso de combustión, biomasa para biocombustibles, o como ingredientes de cosméticos (Sotiropoulou et al., 2017).

4.3.1 Compostaje

Según la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados, se define compost como la enmienda orgánica obtenida a partir de tratamiento biológico aerobio y termófilo de residuos biodegradables recogidos separadamente. El compostaje es un proceso biológico, mediante el cual los microorganismos oxidan la materia orgánica biodegradable, produciendo dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estable (InfoAgro, 2019). Muchos desechos orgánicos biodegradables se pueden compostar de una manera conveniente y económica. El compostaje de materia orgánica es una manera simple y eficiente de transformar los desechos agroindustriales en productos adecuados para su uso como acondicionadores de suelos (Ferrer, 2001).

La incorporación directa de orujo de uva en tierras agrícolas es una práctica muy común, sin embargo, ha causado serios problemas ya que los productos de degradación pueden dificultar el crecimiento de la vid y su composición tiene una alta relación C/N. Para superar tales desventajas, el estudio de Díaz et al. (2002) plantea la mezcla del orujo de uva con residuos de la industria azucarera. Cabe destacar, que en un estudio realizado por Troncozo et al. (2019), se demostró que el empleo de algunos hongos para tratar el orujo de uva conseguía reducir su fitotoxicidad.

Asimismo, los raspones que se generan como residuo durante el despalillado se pueden compactar o triturar para su aplicación directa en el campo, su utilización para la mejora del compostaje o su incineración (ASEVEX, 2009).

4.3.2 Orujeras

Las orujeras son un tipo de industrias dedicadas al aprovechamiento de los residuos del vino, que tradicionalmente se han dedicado a producir aguardiente de orujo para la elaboración de licores (Destilerías San Valero, 2019). Según el Reglamento (CE) n° 110/2008 relativo a la definición, designación, presentación, etiquetado y protección de la indicación geográfica de bebidas espirituosas, el aguardiente de orujo debe reunir

una serie de condiciones. Entre ellas destaca que debe obtenerse exclusivamente de orujos de uva fermentados y destilados.

Las destilerías que aprovechan los residuos del vino, también se dedican a la producción de alcohol para otros usos industriales, tartratos, granilla de uva (separación y secado de las semillas de la uva para su posterior utilización). Como materias primas, se emplean tanto el orujo de uva, como las lías, que principalmente se destinan a la elaboración de alcoholes de más baja calidad (Destilerías San Valero, 2019).

Antes del almacenamiento del orujo de uva, se inspecciona para evaluarlo organolépticamente y poder anticiparse a la calidad final del producto. En ocasiones se rocía con ácido tartárico para evitar su deterioro y se almacena en condiciones anaeróbicas aprovechando la fermentación alcohólica provocada por levaduras autóctonas, que catabolizan azúcares residuales, principalmente a etanol (Silva, Macedo y Malcata, 2000). Para obtener un buen destilado, los orujos no deben contener restos de azúcar, por lo que han de estar perfectamente fermentados (Orriols, 2005). Las condiciones de fermentación determinarán la calidad final del destilado, por tanto se deben controlar parámetros como la temperatura, la humedad, la presencia de oxígeno o el pH. También resulta indispensable el control durante su almacenamiento hasta el momento de la destilación, para evitar una degradación enzimática excesiva o una fermentación anómala del orujo (Muhlack, Potumarthi y Jeffery, 2018).

El proceso de destilación consiste en el arrastre mediante vapor de los compuestos volátiles del orujo de uva y su posterior purificación en una columna. En el caso de la elaboración de **aguardiente de orujo**, a la destilación se le atribuyen diferentes propósitos, la concentración de compuestos volátiles deseables, la dilución selectiva de compuestos que no interesan desde el punto de vista sanitario y organoléptico y la promoción de reacciones químicas específicas que originan compuestos con efecto positivo sobre el aroma. El destilado se recoge como tres fracciones secuenciales y solo tiene valor comercial el intermedio. Estos cortes deliberados entre fracciones deben hacerse con cuidado atendiendo al contenido en metanol (que es tóxico) y 2- butanol (que produce sabores desagradables). En ocasiones se requiere una segunda destilación para reducir el contenido en metanol dentro de las especificaciones legales (Silva, Macedo y Malcata, 2000). Dado que en el proceso de destilación tan solo se extraen compuestos volátiles del orujo de uva, la industria orujera sigue generando grandes

cantidades de residuos lignocelulósicos (bagazo destilado), todavía susceptibles de su valorización.

La recuperación del **ácido tartárico** a partir de residuos de bodega es un proceso común que involucra la extracción con ácido clorhídrico o simplemente con agua caliente y su posterior precipitación en forma de tartrato con sales de calcio. Posteriormente, el tartrato de calcio se convierte en ácido tartárico por tratamiento con ácido sulfúrico (Beres et al., 2017). El ácido tartárico es un acidificante y conservante (E-334) ampliamente utilizado en la industria alimentaria, como por ejemplo en la preparación de bebidas efervescentes o en repostería para aumentar el volumen de las masas (Muhlack, Potumarthi y Jeffery, 2018).

4.3.3 Extracción de aceite de semillas

Las semillas de uva representan los subproductos más populares de los residuos de bodega, debido a que se emplean en la extracción de su aceite, considerado como beneficioso para la salud por su contenido en vitaminas, ácidos grasos y fenoles (Arvanitoyannis, Ladas y Mavromatis, 2006).

Las semillas de uva constituyen aproximadamente el 20-52% de los desechos sólidos generados por la industria vinícola. En general contienen un 40% de fibra, 10-20% de lípidos, 10% de proteínas, además de compuestos fenólicos y azúcares complejos (Beres et al., 2017; FEDNA, 2019).

El perfil lipídico del aceite de semilla de uva se caracteriza por altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados y una baja cantidad de ácidos saturados, siendo el ácido linoleico, ácido oleico y ácido palmítico los más abundantes. Junto con su contenido en esteroides y tocoferoles, resulta un reclamo para un amplio grupo de consumidores dada la tendencia actual de consumo de alimentos saludables (Bordiga, Travaglia y Locatelli, 2019).

Puesto que se considera un aceite vegetal con valor agregado por su composición, se emplea a menudo en la industria farmacéutica y cosmética. Considerando de nuevo la tendencia de preferencia por parte de los consumidores de productos naturales, teniendo en cuenta la aparición cada vez más frecuente de reacciones alérgicas y problemas cutáneos debido a componentes sintéticos en estos productos, el aceite de semilla de uva representa una alternativa natural muy bien valorada (Bordiga, Travaglia y Locatelli, 2019).

La extracción de aceite vegetal a partir de semillas oleaginosas generalmente se realiza mediante extracción sólido-líquido utilizando hexano como disolvente. Se trata de una técnica con alto rendimiento (95%) pero también presenta algunas desventajas, como pérdidas del solvente durante el procesado y su toxicidad. Se han estudiado otros métodos como el prensado con pretratamiento enzimático para facilitar la extracción y mejorar el rendimiento (Beres et al., 2017).

El aceite de semilla de uva se ha producido durante décadas y, aunque está considerado como una alternativa más saludable frente a otros aceites, no se usa en la industria alimentaria debido a su alto precio, si bien, sí está ganando mercado como producto gourmet (Dwyer, Hosseinian y Rod, 2014).

4.3.4 Extracción de compuestos bioactivos

Algunos factores ambientales como la variedad, el sistema de plantación o el clima, así como el procesamiento de las uvas, pueden afectar la composición química de los subproductos. Durante el proceso de vinificación, las uvas se someten a procesos que, aunque puedan parecer bastante invasivos, no alteran tan apenas la composición química relacionada con el contenido en compuestos bioactivos (Bordiga, 2016).

Los principales compuestos bioactivos de interés en el vino son los compuestos fenólicos, que quedan en diferentes proporciones en el orujo de uva, en función de su extracción durante el proceso de vinificación. De hecho, se estima que durante la vinificación se extraen del 30 al 40% de los compuestos fenólicos (Beres et al., 2017).

Los compuestos fenólicos se asocian por lo general con beneficios para la salud, mostrando una amplia gama de propiedades fisiológicas, como efectos antiinflamatorios, antimicrobianos, antioxidantes o cardioprotectores. Debido a su extracción incompleta durante la vinificación, los orujos de uva conservan un alto contenido en compuestos fenólicos, que pueden obtenerse y comercializarse como extractos de orujo de uva en forma líquida, concentrados o en polvo (Bordiga, Travaglia y Locatelli, 2019).

Estructuralmente, los compuestos fenólicos contienen un anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxilo y varían desde moléculas fenólicas simples hasta compuestos altamente polimerizados. Los compuestos fenólicos contenidos en la uva se pueden clasificar en cuatro grupos principales, los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y taninos (Figura 7) (Beres et al., 2017).

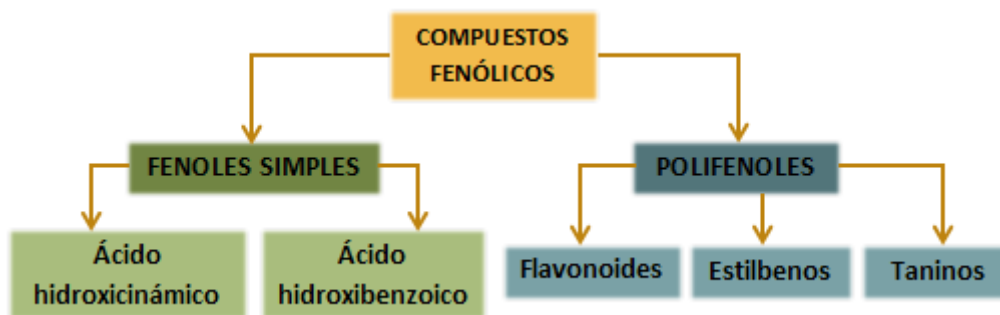


Figura 7. Principales compuestos fenólicos de la uva (Beres et al., 2017).

Se han identificado numerosos compuestos fenólicos en el orujo de uva, donde los más abundantes son las antocianinas, un tipo de flavonoides. Las antocianinas son pigmentos característicos del color rojo y violeta y se producen durante la maduración. Son responsables de la coloración de las uvas tintas y su uso está autorizado en la Unión Europea como colorantes alimentarios, tal y como se refleja en el Reglamento (UE) 1129/2011.

Los ácidos fenólicos se dividen en ácidos hidroxicinámicos y ácidos hidroxibenzoicos. El principal estilbeno que se encuentra en la uva es el resveratrol. El efecto beneficioso más destacable que aportan estos compuestos se debe a su efecto antioxidante. Aprovechando esta cualidad, se ha estudiado el efecto del extracto de uva en alimentos, productos farmacéuticos o cosméticos. Diversos estudios demuestran su capacidad antioxidante para prevenir la oxidación lipídica y antibacteriana contra diferentes espectros bacterianos (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter coli*, *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella infantis* y *Listeria monocytogenes*). También se ha demostrado su efectividad para reducir la formación de acrilamida durante la reacción de Maillard. En cuanto al resveratrol, a pesar de los beneficios potenciales para la salud, su empleo como ingrediente nutracéutico en la industria alimentaria es limitado debido a su inestabilidad química, su escasa solubilidad en agua y su biodisponibilidad limitada (Beres et al., 2017).

La variabilidad en composición y proporción de los compuestos fenólicos y el rendimiento de la extracción, dependen de la variedad de uva, la ubicación geográfica, el clima, la condición del suelo y la tecnología de proceso. Los compuestos fenólicos pueden unirse covalentemente a polisacáridos complejos, con lo cual los métodos tradicionales de agitación mecánica y extracción con solventes pueden resultar ineficientes, por lo que se ha estudiado la aplicación de una hidrólisis alcalina previa (Beres et al., 2017).

En la extracción de estos compuestos se suelen emplear disolventes como el metanol o la acetona a la vez que se someten a temperaturas elevadas, lo que disminuye su capacidad antioxidante dada su inestabilidad. Por lo tanto, se han propuesto otras alternativas, como la extracción con líquido presurizado, que permite un menor uso de solventes y consigue rendimientos muy superiores o la aplicación de pulsos eléctricos de alto voltaje, que producen la electroporación de las membranas celulares, facilitando la difusión de los compuestos fenólicos (Muhlack, Potumarthi y Jeffery, 2018).

4.3.5 Fibra dietética

Según la FAO (2010), la fibra dietética se define como polímeros de carbohidratos que presentan diez o más unidades monoméricas, no hidrolizables por las enzimas endógenas del intestino delgado humano. El consumo de fibra está relacionado con efectos como la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, la protección contra el cáncer, la mejora del tránsito digestivo o la disminución del colesterol (Beres et al., 2017).

La fibra dietética es el componente más importante del orujo de uva seco, con concentraciones comprendidas entre el 43% y el 75%, siendo los polisacáridos de la pared celular y la lignina los principales constituyentes. El contenido varía en función de la presencia de semillas, más ricas en fibra que los hollejos, o del tipo de vino, ya que el orujo de vino tinto es más rico en fibra que el de vino blanco (Bordiga, 2016).

Recientemente, se ha evaluado la posibilidad de utilizar como ingrediente en diferentes productos tanto harinas de semilla como el propio orujo de uva para contribuir al aporte de fibra en la dieta de los consumidores. Además, la fibra dietética procedente de los orujos de uva juega un papel importante como agente antioxidante y antimicrobiano, lo que la hace capaz de alargar la vida útil de los productos alimenticios (Bordiga, Travaglia y Locatelli, 2019).

El principal método de extracción utilizado para recuperar polisacáridos de las paredes celulares vegetales es la extracción con agua caliente utilizando en ocasiones ácido clorhídrico como disolvente o mediante el uso de enzimas para ayudar a romper la estructura de la pared celular (Beres et al., 2017).

4.3.6 Alimentación animal

Los productos normalmente comercializados para alimentación animal son el orujo de uva, el hollejo y la granilla desengrasada, que es el residuo que queda tras la

extracción del aceite de semillas. Estos productos se caracterizan por un elevado contenido en componentes de la pared celular y suelen añadirse en piensos compuestos o administrarse en forma de harinas mezclados con otros alimentos (FEDNA, 2019).

Diversos estudios han experimentado con el orujo de uva como suplemento en la alimentación animal. Se ha demostrado que en corderos mejora la eficiencia alimenticia y reduce la cantidad de colágeno en los músculos, en conejos favorece el tránsito digestivo ya que se emplea para cubrir parte de las exigencias de fibra en su dieta, aunque su principal utilidad es en piensos de mantenimiento para rumiantes. Sin embargo, los resultados obtenidos no han sido muy buenos, el valor nutritivo del orujo de uva para alimentación animal es muy pobre, la proteína que contiene es de bajo valor biológico y se estima que solo un 3% de la producción nacional se destina a alimentación animal (FEDNA, 2019).

4.3.7 Procesos de bioconversión

Otra vía de revalorización de residuos vinícolas es la bioconversión en compuestos de mayor valor. Este proceso se basa en la acción de microorganismos, bacterias u hongos, que son capaces de transformar residuos que contengan azúcar en diferentes compuestos como, por ejemplo, biocombustibles o biopolímeros (HAproWINE, 2011).

Según la Directiva (UE) 2018/2001, se define **biocombustible** o biocarburante como el combustible líquido destinado al transporte y producido a partir de biomasa. La biomasa se define como la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico.

Dadas las características de composición del orujo de uva, más concretamente su contenido en celulosa, es evidente que tiene potencial como materia prima para la producción de bioetanol y existen diversos estudios que así lo demuestran. El proceso de producción de bioetanol requiere 4 etapas fundamentales como se refleja en la Figura 8, el pretratamiento, la hidrólisis, la fermentación anaeróbica y la separación y purificación del etanol (Muhlack, Potumarthi y Jeffery, 2018).

El objetivo del pretratamiento es dividir la compleja estructura del residuo, principalmente lignocelulosa, en sus elementos fundamentales que son lignina, hemicelulosa y celulosa, para lo cual se utilizan diversos métodos físicos y/o químicos, como la tritución, ultrasonidos, exposición a temperaturas y presiones elevadas, etc. La hidrólisis (ácida o enzimática) consiste en la ruptura de las largas cadenas de hemicelulosa y la celulosa en monosacáridos que, una vez obtenidos, comienza su fermentación alcohólica por medio de levaduras. Finalmente el etanol se separa mediante destilación (HAproWINE, 2011).

Debido a que el aceite de semilla de uva presenta un alto punto de humo, puede considerarse una posible materia prima en la fabricación de **biodiesel**. De hecho se está considerando su empleo por sus características de composición, que tendrían un buen impacto en las propiedades físico-químicas del biocombustible. La calidad del biodiesel depende de la composición de ácidos grasos de los aceites empleados como materia prima, como ventaja, este aceite vegetal tiene un perfil lipídico (baja saturación y cantidad notable de ácidos grasos mono y poliinsaturados) que reduce la estabilidad oxidativa pero mejora el rendimiento del combustible (Beres et al., 2017).

Según el Real Decreto 436/2004, el **biogás** se define como el combustible gaseoso producido a partir de biomasa. El biogás es un gas combustible compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono en proporciones variables dependiendo de la composición de la materia prima a partir de la cual se ha generado. Puede obtenerse en reactores cerrados por digestión anaeróbica de materia orgánica, manteniendo determinadas condiciones de temperatura y tiempo controladas. Las principales fuentes de biogás son los residuos ganaderos y agroindustriales, así como los lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (IDAE, 2019).

Como una alternativa a la fermentación de azúcares por levadura para la producción de biocombustibles, la tecnología de digestión anaeróbica se puede utilizar para producir biogás a partir de residuos orgánicos, como el orujo de uva (Muhlack, Potumarthi y Jeffery, 2018).

La digestión anaeróbica consiste en la descomposición de material biodegradable por microorganismos en ausencia de oxígeno que se produce en cuatro etapas. La primera consiste en la hidrólisis de los materiales de alto peso molecular por bacterias fermentativas, en segundo lugar, las bacterias acidogénicas transforman los sustratos orgánicos resultantes en ácidos grasos volátiles, seguidamente las bacterias acetogénicas

los transforman en ácido acético y, por último, se produce la metanogénesis, donde las bacterias metanogénicas transforman las sustancias anteriores en metano y dióxido de carbono (Zhang et al., 2014).

El orujo de uva contiene azúcares solubles no fermentados y un contenido significativo de lignocelulosa, por lo que representa una materia prima potencial para la producción de biogás. Para conseguir un mayor rendimiento, y al igual que en el caso del bioetanol, se puede aplicar un tratamiento previo alcalino al orujo para lograr la disolución de la lignocelulosa y así facilitar su degradación microbiana (Bordiga, Travaglia y Locatelli, 2019).

La Figura 8 muestra un esquema general de la producción de bioetanol y biogás a partir de biomasa lignocelulósica.

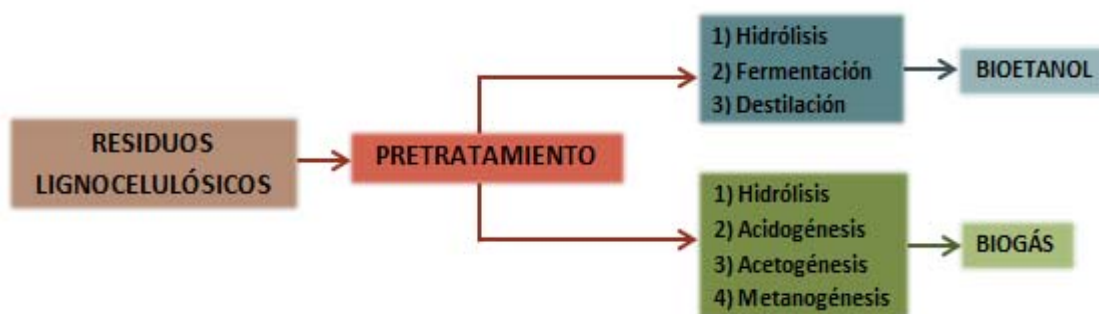


Figura 8: Etapas en la producción de biogás y bioetanol (Taherzadeh and Karimi, 2008).

4.3.8 Otros procesos fermentativos en estudio

La composición de la microbiota capaz de colonizar y desarrollarse en orujo de uva ha sido poco estudiada, así como las otras posibles aplicaciones como sustrato de fermentación (García-Lomillo y González-San José, 2016). En la mayoría de los estudios se ha propuesto su fermentación en estado sólido (SSF), que se define como la fermentación que involucra sólidos en ausencia de agua libre. Implica esencialmente el crecimiento de microorganismos en soportes sólidos húmedos, prácticamente en ausencia de agua libre. Esta tecnología se ha aplicado con éxito en la obtención de nuevos productos de alto valor, como metabolitos secundarios, ácidos orgánicos, compuestos aromáticos o enzimas. En comparación con la fermentación sumergida tradicional, la SSF permite una recuperación más sencilla de los productos y un menor volumen de los reactores, evita la formación de espumas y ofrece mejores rendimientos. Además, los riesgos de contaminación se reducen significativamente debido al bajo

contenido de agua y, en consecuencia, el volumen de efluentes disminuye (Botella et al., 2005).

Varios estudios han explorado la producción de **enzimas hidrolíticas** por fermentación en estado sólido de orujo de uva usando *Aspergillus awamori*. Las enzimas producidas a partir de tales fermentaciones en estado sólido son efectivas para la clarificación del propio vino, proporcionando una opción alternativa para que los productores devuelvan el valor a la cadena de producción y suministro (Muhlack, Potumarthi y Jeffery, 2018). El estudio de Botella et al. (2005) comprobó el comportamiento de *Aspergillus awamori* en el orujo de uva como única fuente de nutrientes para producir xilanasa, celulasa y exo-poligalacturonasa, observándose un rápido aumento de la actividad enzimática durante las primeras etapas de incubación y, por tanto, obteniendo resultados prometedores que demostraron que el orujo de uva podría ser competitivo con otros desechos agroindustriales típicos utilizados como sustratos en procesos de SSF.

También se ha propuesto la producción de **pululano** a partir de orujo de uva. El pululano es un homopolisacárido exocelular, formado por unidades de maltotriosa, de gran importancia económica producido por el hongo *Aureobasidium pullulans*. Su principal utilidad en la industria alimentaria es en la fabricación de películas comestibles, pero también se emplea en envases, por su baja permeabilidad al oxígeno o en la industria farmacéutica como aglutinante. Como aditivo alimentario es conocido por el número E1204 (Singh, Kaur y Kennedy, 2019).

El pululano posee propiedades fisicoquímicas únicas, se trata de un polímero no iónico y no higroscópico que no presenta toxicidad, mutagenicidad ni carcinogenicidad, lo que permite su uso en la industria alimentaria, farmacéutica y biomédica (Singh, Kaur y Kennedy, 2019).

Los nutrientes utilizados para su producción elevan el coste, sin embargo, los desechos generados por la industria agroalimentaria en ocasiones presentan constituyentes orgánicos e inorgánicos necesarios para el crecimiento de *A. pullulans*. Estos residuos pueden usarse como sustrato alternativo para la producción de pululano por fermentación sumergida o en estado sólido (Singh, Kaur y Kennedy, 2019).

La producción de pululano a partir de residuos agroindustriales mediante fermentación requiere que se les aplique un pretratamiento en función de sus

características. Normalmente se aplica un tratamiento térmico y enzimático para favorecer la hidrólisis de residuos lignocelulósicos y así facilitar la actividad del hongo. Posteriormente se lleva a cabo la fermentación, ya sea sumergida o en estado sólido, y al terminar, se separa el extracto de pululano crudo, que se trata con solventes orgánicos para su precipitación. Así se obtiene el pululano crudo, que se purifica mediante ultrafiltración o técnicas cromatográficas (Singh, Kaur y Kennedy, 2019).

Generalmente, el pululano se recupera del caldo de fermentación mediante precipitación con etanol tras la eliminación de las células y se ha demostrado que su pureza varía en función del sustrato utilizado para la fermentación (Arvanitoyannis, Ladas y Mavromatis, 2006).

Entre los desechos agroindustriales estudiados para la producción de pululano, se encuentra el orujo de uva, que se empleó en forma de extracto, obteniendo un buen rendimiento en fermentación en estado sólido por *A. pullulans*. De hecho, el pululano producido a partir del orujo presentaba un alto peso molecular y, en comparación con otros materiales, su extracto fue el más rico en pululano (Singh, Kaur y Kennedy, 2019).

La fermentación sobre sustrato sólido supone una alternativa interesante para la valorización de los residuos, no obstante, como se desprende de esta revisión, son pocos los estudios disponibles en la actualidad sobre el orujo de uva. Serían necesarias más investigaciones para valorar su potencial. Otro campo interesante de estudio sería su empleo combinado con otros residuos industriales sólidos de composición y/o características complementarias a los de la uva, como podrían ser los generados por la industria del aceite, también de gran importancia en nuestro país.

5. CONCLUSIONES

- La creciente generación de residuos en la industria alimentaria tiene un gran coste asociado con su impacto económico y ambiental, lo que pone de manifiesto la necesidad de promover el desarrollo de vías alternativas para su gestión.
- España es uno de los principales países productores de vino y, por lo tanto, también de orujo de uva, sin embargo la investigación dedicada al estudio de su valorización es muy escasa.
- Las estrategias actuales para el aprovechamiento del orujo de uva incluyen la obtención de diferentes alcoholes mediante destilación, la extracción de aceite de semillas y de diferentes compuestos, el compostaje o el uso para alimentación animal.
- Diversos estudios han valorado el empleo del orujo de uva como sustrato para la fabricación de otros productos de valor añadido. Visto su elevado potencial, se deberían desarrollar industrialmente estas nuevas aplicaciones, como por ejemplo, la generación de biogás o biocombustible, si bien el pretratamiento de la materia prima es un proceso costoso y aún muy mejorable.
- Además, se debe profundizar en el estudio acerca de los aspectos microbiológicos del orujo de uva, de su caracterización físico-química y de otras posibles aplicaciones de base fermentativa.

CONCLUSIONS

- The growing waste generation in the food industry has a great cost associated with its economic and environmental impact, and highlights the need to promote the development of alternative ways to manage this waste.
- Spain is one of the main wine producing countries, and therefore, also of grape pomace, however the research dedicated to the study of its valorization is very scarce.
- Current strategies for the use of grape pomace include processes to obtain different alcohols by distillation, extraction of oil from seeds and different compounds, composting and animal feeding.
- Various studies have assessed the use of grape pomace as a substrate for the manufacture of other value-added products. Given its high potential, these new applications should be developed industrially, such as the generation of biogas or

biofuel, although the pretreatment of the raw material is an expensive process that needs to be improved.

- In addition, the study of the microbiological aspects of grape pomace, its physical-chemical characterization and other possible fermentation-based applications should be further studied.

6. VALORACIÓN PERSONAL

Llevar a cabo este estudio me ha resultado muy enriquecedor tanto a nivel académico como a nivel personal, ya que he aprendido a manejar información, desde su búsqueda, selección y análisis hasta su interpretación y redacción, tanto en inglés como en castellano, además de adquirir los conocimientos sobre el tema, pero también ha mejorado mi capacidad de trabajar de manera autónoma y responsable.

Con este trabajo de revisión bibliográfica, además de adquirir nuevos conocimientos tanto sobre el tema de los residuos de la industria alimentaria como de su aprovechamiento, considero que he aplicado lo aprendido a lo largo del grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, desde la microbiología, la bioquímica o la gestión medioambiental hasta la legislación alimentaria o la tecnología de los alimentos, destacando la asignatura de enología. Aunque, a pesar del esfuerzo invertido, no habría sido posible su realización sin la ayuda de la directora de este Trabajo Final de Grado, María Pilar Mañas Pérez.

7. BIBLIOGRAFÍA

Arvanitoyannis, I., Ladas, D. y Mavromatis, A. (2006). "Potential uses and applications of treated wine waste: a review". *International Journal of Food Science and Technology*, 41(5), pp.475-487.

ASEVEX (2009). Asociación de Empresas Vinícolas de Extremadura. *Guía de Buenas Prácticas Ambientales: Soluciones para la Reducción del Impacto en Bodegas*. Disponible en: <https://asevex.es/pdf/Guia%20medioambiental.pdf>. [Consultado: 10-09-2019]

Beres, C., Costa, G., Cabezudo, I., da Silva-James, N., Teles, A., Cruz, A., Mellinger-Silva, C., Tonon, R., Cabral, L. y Freitas, S. (2017). "Towards integral utilization of grape pomace from winemaking process: A review". *Waste Management*, 68, pp.581-594.

Biblioteca de la Universidad de Zaragoza (2019). *Guía de herramientas y pautas para un buen TFG: Ciencia y Tecnología de los alimentos 2018-19*. Disponible en: <https://moodle2.unizar.es/add/course/view.php?id=26154> [Consultado 16-08-2019].

Bordiga, M. (2016). *Valorization of wine making by-products*. Boca Raton: CRC Press.

Bordiga, M., Travaglia, F. y Locatelli, M. (2019). "Valorisation of grape pomace: an approach that is increasingly reaching its maturity - a review". *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), pp.933-942.

Botella, C., Ory, I., Webb, C., Cantero, D. y Blandino, A. (2005). "Hydrolytic enzyme production by *Aspergillus awamori* on grape pomace". *Biochemical Engineering Journal*, 26(2-3), pp.100-106.

Capson-Tojo, G., Rouez, M., Crest, M., Steyer, J., Delgenès, J. y Escudíé, R. (2016). "Food waste valorization via anaerobic processes: a review". *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15(3), pp.499-547.

Couto, S. y Sanromán, M. (2006). "Application of solid-state fermentation to food industry: A review". *Journal of Food Engineering*, 76(3), pp.291-302.

Delanoë, D., Maillard, C. y Maisondieu, D. (2003). *El vino: Del análisis a la elaboración*. 5ª ed. Zaragoza: Acribia.

Deshpande, M., Rale, V. y Lynch, J. (1992). "*Aureobasidium pullulans* in applied microbiology: A status report". *Enzyme and Microbial Technology*, 14(7), pp.514-527.

- Destilerías San Valero (2019). *Productos*. Disponible en: <http://www.destilerias-sanvalero.com/Productos-Alcohol-Tartrato-Granilla-Abonos>. Consultado [10-09-2019]
- Díaz, M., Madejón, E., López, F., López, R. and Cabrera, F. (2002). "Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process". *Process Biochemistry*, 37(10), pp.1143-1150.
- Directiva 2008/98/CE, de 19 de noviembre, sobre los residuos. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. L 321, de 22 de noviembre de 2008, p. 9.
- Directiva (UE) 2018/2001, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. L 328/82, de 21 de diciembre de 2018.
- Dwyer, K., Hosseinian, F. y Rod, M. (2014). "The Market Potential of Grape Waste Alternatives". *Journal of Food Research*, 3(2), pp.91-106.
- FAO (2010). *Capítulo 24: Carbohidratos y componentes alimentarios relacionados*. Disponible en: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/ah833s/AH833S13.pdf>. [Consultado: 07-09-2019].
- FECYT (2019). *Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología: Web Of Science*. Disponible en: <https://www.fecyt.es/es/recurso/web-science>. [Consultado: 16-08-2019]
- FEDNA (2019). *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal: Orujo de uva*. Disponible en: <http://www.fundacionfedna.org/ingredientesparapiensos/orujo-de-uva>. [Consultado: 05-07-2019]
- Ferrer, J. (2001). "Agronomic use of biotechnologically processed grape wastes". *Bioresource Technology*, 76(1), pp.39-44.
- Fuessl, A., Yamamoto, M. y Schneller, A. (2012). "Opportunities in bi-based building blocks for polycondensates and vinyl polymers". *Polymer Science: A Comprehensive Reference*, 5, pp.49-70.
- García-Lomillo, J. y González-SanJosé, M. (2016). "Applications of Wine Pomace in the Food Industry: Approaches and Functions". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), pp.3-22.
- Gómez-Luna, E., Navas, D., Aponte-Mayor, G. y Betancourt-Buitrago, L. (2014). "Literature review methodology for scientific and information management, through its structuring and systematization". *DYNA*, 81(184), pp.158-163.

- Giroto, F., Alibardi, L. y Cossu, R. (2015). "Food waste generation and industrial uses: A review". *Waste Management*, 45, pp.32-41.
- Grainger, K. y Tattersall, H. (2007). *Producción de vino*. 1ª ed. Zaragoza: Acribia.
- Guirao-Goris, J., Olmedo Salas, A. y Ferrer Ferrandis, E. (2008). "El artículo de revisión". *Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*, 1(1), pp.1-25.
- HAProwINE (2011). *Gestión integral de residuos y análisis del ciclo de vida del sector vinícola. De residuos a productos de alto valor añadido*. Disponible en: <http://www.haprowine.eu/pdf/fase2/Generacion%20y%20Gestion%20de%20Residuos%20del%20Sector.pdf>. [Consultado: 25-02-2019]
- Hung, Y., Wang, L., Lo, H. y Yapijakis, C. (2008). *Tratamiento de los residuos de la industria del procesamiento de alimentos*. 2ª ed. Zaragoza: Acribia.
- IDAE (2019). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía: Biogás*. Disponible en: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biogas>. [Consultado: 05-07-2019]
- InfoAgro (2019). *El compostaje, 1ª parte*. Disponible en: <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm> [Consultado: 27-03-2019]
- ISO (2019). *International Sugar Organization: Ethanol Yearbook*. Disponible en: <https://www.isosugar.org/publications/2/ethanol-yearbook>. [Consultado: 11-07-2019].
- Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K. y Bawa, A. (2011). "Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review". *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), pp.278-293.
- Jin, Q., Neilson, A., Stewart, A., O'Keefe, S., Kim, Y., McGuire, M., Wilder, G. y Huang, H. (2018). "Integrated Approach for the Valorization of Red Grape Pomace: Production of Oil, Polyphenols, and Acetone–Butanol–Ethanol". *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(12), pp.16279-16286.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, *Boletín Oficial del Estado*, núm. 181, de 29 de julio de 2011, p. 85659.
- Ley Orgánica 24/2003, de 10 de julio, de la Viña y del Vino, *Boletín Oficial del Estado*, 12 de julio de 2003, núm. 165, p. 7

- Lima, L. R., da Cruz, J. V., Hazoff, W., Junior y Soto, F. R. M. (2016). "Economic analysis of a shared management system of solid wastes from a food industry", *Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente*, 9(4), 917-933.
- Maitan-Alfenas, G., Visser, E. y Guimarães, V. (2015). "Enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass: converting food waste in valuable products". *Current Opinion in Food Science*, 1, pp.44-49.
- MAPA (2018). *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: base de datos de consumo en hogares*. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/app/consumo-en-hogares/resultado1.asp>. [Consultado: 26-02-2019]
- Muhlack, R., Potumarthi, R. y Jeffery, D. (2018). "Sustainable wineries through waste valorisation: A review of grape marc utilisation for value-added products". *Waste Management*, 72, pp.99-118.
- Oficina de publicaciones de la Unión Europea (2019). *Derecho: Eur-Lex*. Disponible en: <https://publications.europa.eu/es/home>. [Consultado: 16-08-2019]
- OIV (2019). *Organización Internacional de la Viña y el Vino: Estadísticas*. Disponible en: <http://www.oiv.int/es/statistiques/recherche>. [Consultado: 12-03-2019]
- OIV (2019). *2019 Statistical Report on World Vitiviniculture*. Disponible en: <http://www.oiv.int/public/medias/6782/oiv-2019-statistical-report-on-world-vitiviniculture.pdf>. [Consultado: 19-03-2019]
- Orriols, I. (2005). *Elaboración de aguardientes de orujo*. Doctor en Ciencias Químicas. Universidad de Santiago de Compostela.
- Ravindran, R. y Jaiswal, A. (2016). "Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products". *Trends in Biotechnology*, 34(1), pp.58-69.
- Reglamento (CE) 110/2008, de 13 de enero, relativo a la definición, designación, presentación, etiquetado y protección de la indicación geográfica de bebidas espirituosas, *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. L 39, de 15 de febrero de 2008.
- Reglamento (UE) 1129/2011 de la Comisión, de 11 de noviembre de 2011, por el que se modifica el anexo II del Reglamento (CE) 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo para establecer una lista de aditivos alimentarios de la Unión, *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. L 259/1, de 12 de noviembre de 2011.

Salerno, A., Koller, M. y Braunegg, G. (2012). "Polyhydroxyalkanoates: a sustainable solution for industrial polymer production from surplus materials". *New Biotechnology*, 29, p.S54.

Science Direct (2014), *Guía rápida de referencia*. ELSEVIER

Silva, M., Macedo, A. y Malcata, F. (2000). "Review: Steam distilled spirits from fermented grape pomace". *Food Science and Technology International*, 6(4), pp.285-300.

Singh, R., Kaur, N. y Kennedy, J. (2019). "Pullulan production from agro-industrial waste and its applications in food industry: A review". *Carbohydrate Polymers*, 217, pp.46-57.

Sotiropoulou, E. I., Liouni, M., Calokerinos, A. C. y Nerantzis, E. (2017). "Utilization of grape pomace for the production of microbial protein – a review". *5th International Conference on Sustainable Solid Waste Management*. Atenas, 21-24 de junio de 2017

Stenmarck, Å., Jensen, C., Quested, T., Moates, G. (2016). *Estimates of European food waste levels*. ISBN 978-91-88319-01-2. FUSIONS. Stockholm.

Suárez Lepe, J. A. e Iñigo Leal, B. (2008). *Microbiología enológica: fundamentos de vinificación*. Madrid: Mundi-Prensa.

Taherzadeh, M. y Karimi, K. (2008). "Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review". *International Journal of Molecular Sciences*, 9(9), pp.1621-1651.

Troncozo, M., Lješević, M., Beškoski, V., Anđelković, B., Balatti, P. y Saparrat, M. (2019). "Fungal transformation and reduction of phytotoxicity of grape pomace waste". *Chemosphere*, 237, p.124458.

Tsang, Y., Kumar, V., Samadar, P., Yang, Y., Lee, J., Ok, Y., Song, H., Kim, K., Kwon, E. y Jeon, Y. (2019). "Production of bioplastic through food waste valorization". *Environment International*, 127, pp.625-644.

Uçkun Kiran, E., Trzcinski, A., Ng, W. y Liu, Y. (2014). "Bioconversion of food waste to energy: A review". *Fuel*, 134, pp.389-399.

Ward, O. (1991). *Bioteconología de la fermentación*. Zaragoza: Acribia.

Yang, X., Lee, S., Yoo, H., Choi, H., Park, C. y Kim, S. (2014). "Biorefinery of instant noodle waste to biofuels". *Bioresource Technology*, 159, pp.17-23.

Zacharof, M. (2016). "Grape Winery Waste as Feedstock for Bioconversions: Applying the Biorefinery Concept". *Waste and Biomass Valorization*, 8(4), pp.1011-1025.

Zamora Marín, F. (2003). *Elaboración y crianza del vino tinto: aspectos científicos y prácticos*. Madrid: A. Madrid Vicente.

Zhang, C., Su, H., Baeyens, J. and Tan, T. (2014). "Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, pp.383-392.

Zheng, Y., Lee, C., Yu, C., Cheng, Y., Simmons, C., Zhang, R., Jenkins, B. y VanderGheynst, J. (2012). "Ensilage and Bioconversion of Grape Pomace into Fuel Ethanol". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(44), pp.11128-11134.

8. ANEXOS

Tabla 2. Búsqueda en ScienceDirect empleando palabras clave generales especificando el tipo de residuos de interés

Palabras clave	Nº de documentos	Nº de artículos de interés	Campo de búsqueda	Filtros
Grape pomace	3189	-	Article title, abstract, keywords	
Grape pomace	402	-	Article title, abstract, keywords	Review articles
Grape pomace	199	5	Article title	
Grape pomace	1	1	Article title	Review articles
Grape pomace valorization	66	5	Article title, abstract, keywords	Review articles
Grape waste	11049	-	Article title, abstract, keywords	
Grape waste	1.374	-	Article title, abstract, keywords	Review articles
Grape waste	45	2	Article title	
Grape waste valorization	709	-	Article title, abstract, keywords	
Grape waste valorization	103	3	Article title, abstract, keywords	Review articles
Wine waste valorization	657	-	Article title, abstract, keywords	
Wine waste valorization	97	3	Article title, abstract, keywords	Review articles
Wine pomace valorization	275	-	Article title, abstract, keywords	
Wine pomace valorization	41	2	Article title, abstract, keywords	Review articles

Tabla 3. Búsqueda en ScienceDirect empleando palabras clave generales sobre residuos de la industria alimentaria

Palabras clave	Nº de documentos	Nº de artículos de interés	Campo de búsqueda	Filtros
Food industry waste	4.626	-	Tema	
Food industry waste	716	-	Tema	Review
Food industry waste	9	3	Título	Review
Food waste and valorization	757	-	Tema	
Food waste and valorization	142	8	Tema	Review
Food waste and valorization	13	3	Título	Review

Tabla 4. Búsqueda en Web of Science empleando palabras clave generales especificando el tipo de residuos de interés

Palabras clave	Nº de documentos	Nº de artículos de interés	Campo de búsqueda	Filtros
Grape pomace	1482	-	Tema	
Grape pomace	70	3	Tema	Review articles
Grape pomace	7	2	Título	Review articles
Grape pomace valorization	89	2	Tema	
Grape pomace valorization	16	1	Título	
Grape waste	1171	-	Tema	
Grape waste	74	3	Tema	Review articles
Grape waste	3	1	Título	Review articles
Grape waste valorization	87	2	Tema	
Grape waste valorization	15	2	Tema	Review articles
Wine waste valorization	47	5	Tema	
Wine pomace valorization	35	3	Tema	
Wine pomace valorization	8	3	Tema	Review articles